

# Visualización e interpretación de parámetros magnéticos mediante herramientas digitales

## *Visualizing and interpreting magnetic parameters by means of digital tools*

TANIA MOCHALES<sup>1,2</sup> Y MANOEL VALCÁRCEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico y Minero de España C/La Calera 1, 28760 Tres Cantos - Madrid, España.

E-mail: [taniamochales@gmail.com](mailto:taniamochales@gmail.com), [manoel.valcarcel@gmail.com](mailto:manoel.valcarcel@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, c/Manuel Lasala 44, 50006 Zaragoza, España.

**Resumen** Este trabajo describe varias actividades que permiten comprender los efectos electromagnéticos del campo magnético, principalmente en lo que respecta a los parámetros de declinación e inclinación. Por medio de actividades que aprovechan las TIC, el alumnado podrá visualizar la orientación del campo magnético en cualquier localización del planeta y momento, pudiendo ajustar sus brújulas en concordancia.

**Palabras clave:** Campo geomagnético, declinación, inclinación, NOAA, virtual globes.

**Abstract** The suggested activities are focused on the understanding of the electromagnetic effects of the magnetic field, mainly regarding declination and inclination parameters. By means of these activities, taking advantage of the ICTs, students will be able to observe the magnetic field orientation at any location and date, and will be able to adjust their compasses accordingly.

**Keywords:** Geomagnetic field, declination, inclination, NOAA, virtual globes.

## INTRODUCCIÓN

El campo geomagnético provoca efectos electromagnéticos, como la orientación de las brújulas de acuerdo al norte magnético, constituyendo un equipamiento necesario de seguridad tanto en las salidas de campo, como en la navegación. Además, permite que algunos seres vivos puedan orientarse en su migración, como las palomas mensajeras o las tortugas que, por medio de sensores magnéticos, pueden reorientar su trayectoria siguiendo el campo magnético terrestre. Del mismo modo, las bacterias magnetotáctiles utilizan el campo geomagnético para orientarse en el medio. El magnetismo terrestre es, por lo tanto, una disciplina de gran interés en lo que respecta a las funciones biológicas.

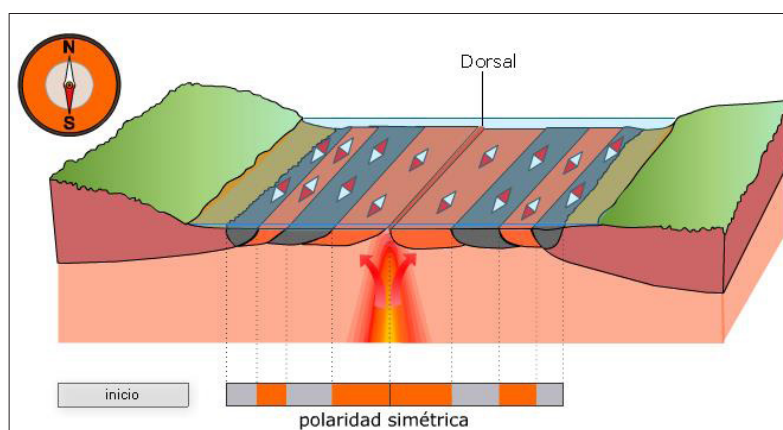
El campo geomagnético también posee la propiedad de registrarse en los materiales, como sería el caso de las cintas de *casette*, donde las notas han quedado grabadas por medio de una impronta magnética remanente. Esta característica es la denominada remanencia, que representa la magnetización que queda registrada en los materiales, después de que un campo magnético externo sea aplicado. Por tanto, años después de la fabricación del *casette* y, análogamente, millones de años después de la formación de una roca, podemos extraer información remanente de las sustancias. Esta posibilidad de registrar la infor-

mación magnética del pasado ha permitido, junto con otras dataciones, demostrar la expansión del fondo oceánico y la teoría de la deriva continental (Fig. 1).

El aprendizaje de conceptos geológicos relacionados con el geomagnetismo y paleomagnetismo es esencial para el aprendizaje de geología en la Enseñanza Secundaria, ya que posibilita la comprensión de cuestiones centrales como son la tectónica de placas (Castelhamo *et al.*, 2012) o la datación de unidades geológicas. Con la finalidad de facilitar dicho aprendizaje, en este artículo se ofrecen y describen varias actividades didácticas sobre el campo

Fig. 1. Diagrama simplificado del registro de la polaridad magnética en los sucesivos episodios de expansión oceánica.

Fuente: [http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2500/2623/html/12\\_expansin\\_del\\_fondo\\_oceanico.html](http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2500/2623/html/12_expansin_del_fondo_oceanico.html)



geomagnético aplicadas a las TIC, tal y como son los globos virtuales (e.g. Google Earth) o la calculadora de parámetros magnéticos de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

En la época en la que Hess defendía su hipótesis sobre la expansión del suelo oceánico, los geofísicos comenzaron a comprender que, durante el periodo de centenares de miles de años, el campo geomagnético cambia periódicamente de polaridad. Durante una inversión geomagnética, el polo norte magnético pasa a indicar el polo sur, y viceversa. Cuando las rocas muestran el mismo magnetismo que el campo magnético terrestre actual, se dice que tienen polaridad normal, mientras que las rocas que muestran el magnetismo opuesto se dice que tienen polaridad invertida. Una inversión geomagnética está representada por este cambio de polaridad, que viene acompañada por un descenso de la intensidad del campo geomagnético. Una excursión geomagnética es, en cambio, una modificación significativa en la orientación del campo magnético terrestre. A diferencia de las inversiones, la excursión no representa un cambio permanente sino que tiene una duración relativamente corta, durante la cual disminuye la intensidad del campo, ello acompañado por una variación en la orientación del polo magnético respecto a su orientación previa.

Desde el punto de vista didáctico, las actividades propuestas están enfocadas hacia el desarrollo de competencias clave transversales como la “Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología”, la “Competencia digital” y la “Competencia para aprender a aprender” (O. ECD/65/2015, de 21 de enero), y en concreto hacia la alfabetización científica en el campo de las ciencias de la Tierra (Pedrinaci *et al.*, 2013). En este sentido, se pretende trabajar en los tres componentes de la enseñanza de ciencias propuestos por Hodson (1994) y recogidos por Fernández-Manzanal y Huetó (2011): aprender ciencia (adquirir conocimientos científicos y familiaridad con algunas de las principales teorías científicas), hacer ciencia (adquirir los conocimientos y capacidades necesarias para llevar a cabo una investigación, libremente o de forma guiada) y aprender sobre la ciencia (comprender la naturaleza de la ciencia y la práctica científica).

Una de las claves que facilitan el aprendizaje científico consiste en que los conocimientos tengan aplicabilidad a la vista del estudiante “se procurará la integración de los aprendizajes poniendo de manifiesto las relaciones entre las materias y su vinculación con la realidad.” (O. ECD/1361/2015, de 3 de julio). Las actividades propuestas permiten a los estudiantes observar los efectos del campo geomagnético en los sistemas de orientación tradicional (brújulas) y cómo éstos deben ser corregidos. Al mismo tiempo, el tratamiento por los propios alumnos de información digital georreferenciada les permite “ponerse en la piel” de un científico/a. Además, es recomendable que el profesorado aproveche estas actividades para incidir en el uso que los datos magnéticos pueden tener para la realización de cartografías geológicas y la localización de potenciales depósitos minerales con interés económico.

Puede ser interesante realizar las actividades propuestas en colaboración con el departamento de

Tecnología/Informática del centro, planteando estas actividades como interdisciplinares, de manera que formen parte tanto de la asignatura de Ciencias Naturales, Biología o Geología como de las de Informática/Tecnología y Física.

## OBJETIVOS

El objetivo de las actividades prácticas propuestas en este trabajo reside en ilustrar algunos conceptos básicos del campo magnético de nuestro planeta y ofrecer una aproximación al geomagnetismo por medio de la explicación de parámetros físicos-geológicos. Planteamos varias actividades didácticas en las que el alumnado de ESO y/o Bachillerato pueda experimentar y reflexionar sobre conceptos básicos del geomagnetismo.

Con la realización de las actividades propuestas, el alumnado/a: (1) se familiarizará con los conceptos de campo geomagnético, intensidad, declinación e inclinación magnéticas, (2) practicará la selección y tratamiento de datos para extraer conclusiones, método fundamental en la práctica científica, y (3) será consciente del constante cambio al que está sometido el planeta Tierra, en este caso en su campo magnético. Asimilará, por tanto, que la Tierra es un sistema dinámico. Esta idea es central en el aprendizaje de la Geología.

## ACTIVIDADES SOBRE GEOMAGNETISMO

### Importar en Google Earth datos georreferenciados (\*.kmz) de declinación magnética.

#### *Objetivos de la actividad*

Con el desarrollo de esta actividad, los alumnos/as serán capaces de tratar información magnética georreferenciada y visualizarla en tres dimensiones por medio de *Virtual globes*. Así, se familiarizarán con conceptos magnéticos y al mismo tiempo experimentarán con el tratamiento digital de información geográfica (competencia digital).

#### *Fundamentos*

La Tierra se comporta como un imán gigante, generador de un campo magnético. Este campo magnético, que se puede caracterizar como un vector con dirección e intensidad, es generado por un proceso de tipo dinamo en el núcleo externo de la Tierra (Maus, 2010). El campo magnético terrestre en los diferentes puntos del planeta puede ser representado como líneas, que emergen del Norte magnético y convergen en el Sur magnético. Las posiciones del Norte y Sur magnéticos difieren en mayor o menor medida con las posiciones del Norte y Sur geográficos. La diferencia entre polos geográficos y magnéticos viene cuantificada por la declinación magnética.

En esta actividad se analizarán también las auroras polares y su relación con el campo magnético. Fernández (2013) lo explica de manera muy sencilla y precisa: como consecuencia de las reacciones nucleares que se producen en el interior del Sol, éste emite continuamente radiación electromagnética y partículas en todas las direcciones del espacio. El

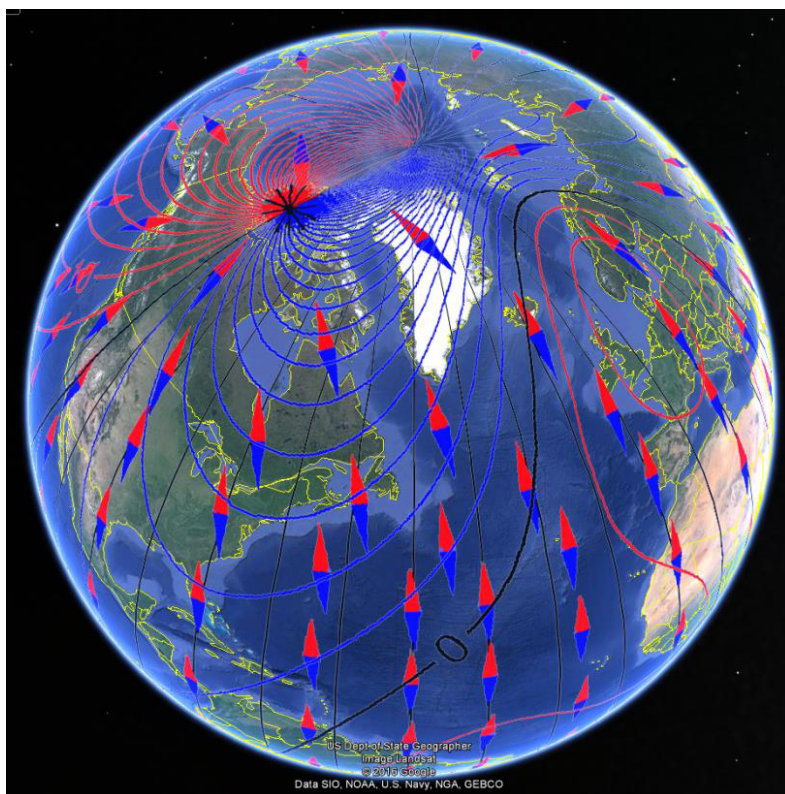
flujo de partículas da lugar al denominado viento solar, cuya interacción con el campo magnético terrestre hace que éste adopte una forma similar a la de un cometa, que recibe el nombre de magnetosfera. Cuando las partículas cargadas conducidas a lo largo de las líneas del campo magnético terrestre se precipitan en su trayectoria en la atmósfera, van colisionando con átomos y moléculas en las zonas polares hasta perder toda su energía. Cuando la lluvia de partículas procedentes del Sol es suficientemente intensa (su velocidad e intensidad depende de la actividad solar) puede apreciarse visualmente la luz de las auroras. Obviamente, a mayor concentración de líneas de campo geomagnético, mayor cantidad de partículas y por tanto mayor posibilidad de que se puedan visualizar auroras polares.

Las herramientas digitales de visualización 3D permiten una mejor comprensión de estos conceptos, difíciles de representar en un libro o imagen 2D tradicional. Con este objetivo, en esta actividad se utilizará el software *Google Earth* como herramienta didáctica.

#### Descripción de la propuesta

Esta actividad está planteada para una duración de media hora (media sesión). Para que el conjunto del alumnado realice la actividad de manera simultánea será necesario que la actividad se realice en el aula de informática o que dispongan de ordenador portátil. La actividad consta de los siguientes pasos:

1. El profesor/a introducirá los conceptos de campo magnético terrestre, intensidad, declinación e inclinación, así como los de georreferenciación y herramientas digitales de visualización tridimensional.
2. Los alumnos/as accederán a la siguiente web, que permite descargar un archivo de datos de campo magnético y de declinación georreferenciados (1126099-mainfield.kmz): [http://productforums.google.com/forum/#!topic/gec-dynamic-data-layers/USH8Jyj\\_pfA](http://productforums.google.com/forum/#!topic/gec-dynamic-data-layers/USH8Jyj_pfA) (Jackson *et al.*, 2000, Macmillan & Maus, 2005)
3. Guiados por el profesor/a, los alumnos/as iniciarán el programa *Google Earth* e importarán el archivo 1126099-mainfield.kmz descargado.
4. Los alumnos/as activarán alternativamente las casillas *Magneticfielddirection*, *Compassneedles* y *Declination*, y observarán el comportamiento de estas tres capas en diferentes puntos de la Tierra. La capa *Compassneedles* permite comprobar la diferencia entre la posición del Norte magnético (azul) y la del Norte geográfico (convergencia de líneas negras) (Fig. 2). Se observará que las líneas de campo magnético terrestre se concentran en la zona cercana a los polos magnéticos. El profesorado resolverá las dudas y repasará los conceptos relacionados con lo visualizado.
5. Se planteará a los alumnos/as si conocen la existencia de las auroras boreales y auroras australes, y si saben que éstas se observan en las zonas cercanas a los polos (en conjunto se denominan auroras polares). Se explicará a los alumnos en qué consisten las auroras polares y su relación con el campo magnético terrestre



(Fig. 3). Se propone usar como referencia para la explicación el texto de Fernández (2013).

#### 6. Cuestiones a debate:

- ¿Qué ocurriría si varía la posición de los polos magnéticos en relación a los parámetros direccionales del campo magnético terrestre? Una variación en la posición de los polos magnéticos implica un cambio en la geometría del campo magnético terrestre y, por lo tanto, haría variar los valores de declinación e inclinación en cualquier punto del planeta. En posteriores actividades se trata con más detalle la variación de la posición de los polos magnéticos, declinación e inclinación, a lo largo del tiempo.

Fig. 2. Visualización de los meridianos (líneas negras), campo magnético representado por imanes (flechas azules y rojas), y líneas de declinación magnética (líneas azules y rojas). Archivo 1126099-mainfield.kmz proyectado en Google Earth. Se recomienda consultar la versión digital.

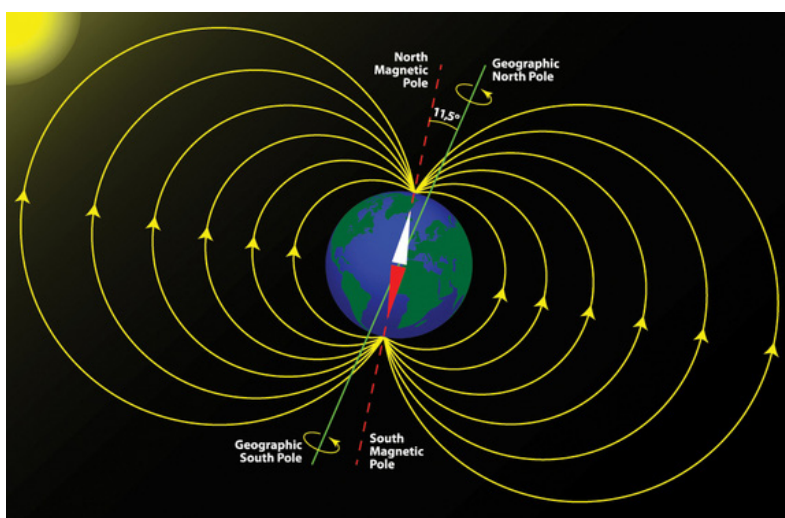


Fig. 3. Las líneas de campo magnético se concentran en las zonas cercanas a los polos magnéticos, lo que condiciona el aumento de la concentración de partículas solares y por lo tanto la posible observación de auroras polares. Fuente: <http://www.livescience.com/21668-why-earth-magnetic-field-wonky.html>



- ¿Qué ocurriría si no existiese campo magnético en la Tierra?

*El primer efecto inmediato en la humanidad de la inexistencia de campo magnético terrestre es que las brújulas dejarían de funcionar, pues no tendrían un norte magnético al que referirse. Además, las partículas del viento solar no interactuarían con las líneas de campo magnético y, por lo tanto, se distribuirían de manera dispersa y relativamente homogénea sobre el conjunto del planeta.*

- Reflexionar sobre qué periodo del año es más probable observar auroras polares y por qué.  
*Las auroras polares se observan mejor cuanto mayor sea la oscuridad en el cielo. En la época del año cercana al solsticio de verano, en las zonas polares los días duran casi 24 horas, por lo que no será una época adecuada para la observación de auroras. Es mucho más recomendable aprovechar las largas noches invernales para verlas.*

### ¿Cómo usar la brújula en cualquier punto del planeta? Cálculo de la declinación en diferentes localidades

#### Objetivos de la actividad

Mediante el desarrollo de esta actividad, el alumnado será capaz de consultar datos de declinación magnética en lugares magnéticos distantes, compararlos e interpretarlos. El objetivo final es que asimilen el concepto de declinación magnética y comprendan el significado e implicaciones de su variación espacial.

#### Fundamentos

La declinación magnética es el ángulo comprendido entre el norte geográfico y magnético. El campo geomagnético medido en cualquier punto sobre la superficie terrestre es una combinación de varios campos magnéticos generados por distintas fuentes que se superponen e interactúan entre sí. Más del 90% del campo medido es de origen interno, es decir, se origina en el núcleo externo de la Tierra. Esta porción del campo geomagnético se denomina Campo Principal, que varía lentamente en el tiempo y se puede describir por modelos matemáticos como el *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF) y el *World Magnetic Model* (WMM). El valor de la declinación magnética es, por lo tanto, dependiente de la ubicación del punto de medida y del momento en el que se mide. Las líneas de igual valor de declinación magnética se denominan curvas isógonas (de igual valor angular) y aquella con valores nulos se conoce como ágon (Fig. 4). La declinación magnética se mide desde el norte geográfico en sentido antihorario hacia el norte magnético, con valores que van de 0° a 360°.

#### Descripción de la propuesta

La sesión tiene una duración aproximada de 1 hora. La actividad debería realizarse en un aula de informática, o que se disponga de ordenador portátil en el aula. En la práctica se observarán valores de declinación magnética y su variación en función de su localización. Se muestran localidades ejemplo que pueden ser utilizadas o pueden elegirse otras de manera aleatoria. Esta información puede extraerse de NOAA, que pone a disposición diversos parámetros geomagnéticos de un modo didác-

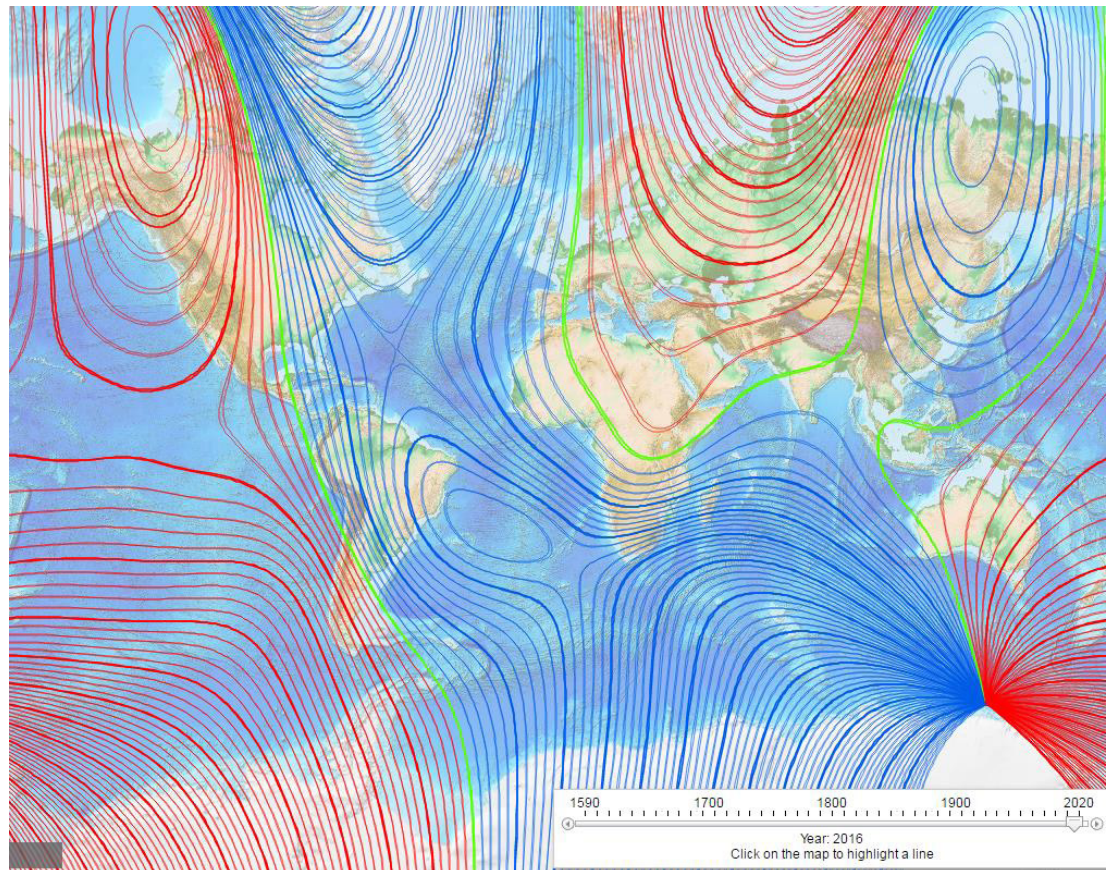


Fig. 4. Líneas isógonas del relieve ETOPO1. La línea verde representa el valor de declinación 0, las líneas azules representan valores positivos de declinación y las líneas rojas valores negativos. [http://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical\\_declination/](http://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical_declination/). Se recomienda consultar la versión digital.

## Lookup Latitude / Longitude

Either enter a zip code, select a country/city, or search for an address at [USGS Earth Explorer](#).

U.S. Zip Code:

- OR -

Country:

Portugal

City:

Lisbon

Get & Add Lat / Lon

## Calculate Declination

Latitude:

38° 43' 48"

S

N

Longitude:

9° 7' 48"

W

E

Model:

WMM (2014-2019)

IGRF (1590-2019)

Date:

3

Year

2016

Month

4

Day

18

Result format:

HTML

XML

CSV

PDF

Calculate

Fig. 5. Calculadora de campo magnético terrestre de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), apartado localidad.

tico. La actividad consta de los siguientes pasos:

1. El profesor/a introducirá los conceptos de campo magnético, intensidad, declinación e inclinación, así como la importancia de la declinación en tareas de orientación. Proporcionará al alumnado el enlace a la página web de NOAA donde se puede calcular la declinación de diferentes lugares:

<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>

2. Se elige una localidad al azar: **Lisboa** (Portugal) en este ejemplo (Fig. 5):
  3. La página web determina automáticamente la latitud y longitud de la localidad seleccionada. El alumnado elige el periodo en el que calcular la declinación magnética, la extensión para visualizar los datos (\*.html) y se selecciona *Calculate* (Figs. 6 y 7):
  4. Se elige otra localidad; en este caso hemos seleccionado **Brisbane** (Australia), localizada en el hemisferio Sur. Repetimos los pasos previos (Fig. 8):
- Localidad >Get&AddLat/Lon> Fecha > Tipo de visualización >Calculate
5. Se reflexionará en conjunto sobre el significado de estas diferencias.
  6. Cuestiones a debate:

- ¿Cuántos grados deberíamos desviar nuestra brújula en las localidades de Lisboa o Brisbane para medir correctamente el norte magnético? En el caso de Lisboa habría que hacer girar el limbo de la brújula hacia la izquierda 2° (sumando 2° a la medida) y en el caso de Brisbane, habría que girarlo 10° a la derecha (restando 10° a la medida). Cabría mencionar que esta corrección instrumental conviene hacerla con la brújula alejada de fuentes magnéticas como rocas con minerales magnéticos, líneas de alta tensión, masas con hierro...

- ¿Los valores de declinación son mayores en las regiones cercanas a los polos o en las regiones ecuatoriales? ¿Por qué? Las declinaciones suelen ser mayores en los polos, aunque el valor es estrictamente depen-

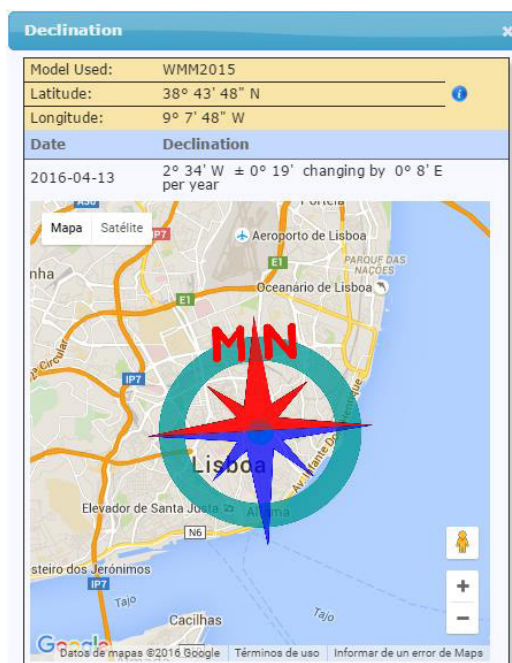


Fig. 6. Calculadora de campo magnético terrestre de NOAA, apartado Calculadora de la declinación magnética.

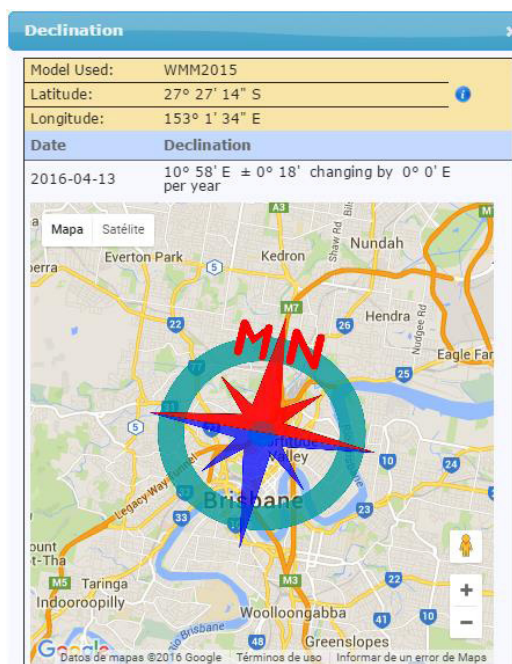


Fig. 8. Datos extraídos del cálculo de la declinación en Brisbane para la fecha seleccionada. Declinación: 10° 58' E (East, Este)



diente del modelo IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*). en ese punto. En líneas generales, la proximidad del norte geográfico y magnético en los polos puede proporcionar variaciones angulares en la declinación de gran amplitud.

- ¿La orientación del polo magnético ha sido siempre la misma? Con lo estudiado hasta ahora, ¿tenemos alguna información de la existencia de inversiones del campo geomagnético? Tal y como se muestra en esta actividad el modelo del campo magnético es dependiente del tiempo, produciendo variaciones tanto en la inclinación como en la declinación del norte magnético. En la figura 1 se muestra un diagrama simplificado de las inversiones de polaridad magnética, siendo una de las evidencias más importantes a la hora de constatar la expansión del suelo oceánico. Se entiende por inversión de polaridad el cambio en la orientación del campo magnético terrestre del hemisferio norte al sur y viceversa.

## Evolución histórica de la declinación magnética en EEUU. Proyectar la variación en una hoja de cálculo

### Objetivos de la actividad

Observar la declinación magnética en diferentes momentos históricos de Estados Unidos. Mediante el desarrollo de esta actividad, el alumno será capaz de consultar datos magnéticos de referencia en una web, anotar los datos obtenidos en una hoja de cálculo e interpretar los datos. El objetivo final es que el alumnado asimile el concepto de declinación magnética y comprenda el significado e implicaciones de su variación temporal.

### Fundamentos

La diferencia angular entre el norte geográfico y magnético es la declinación magnética. El valor de la declinación magnética varía con el transcurso del tiempo y depende de la latitud y la longitud del punto donde nos encontramos. Este vídeo del Servicio Geológico Americano ilustra cómo varía el valor de la declinación en cualquier punto del planeta des-

de que hay datos instrumentales (~año 1600) hasta nuestros días (Jackson *et al.*, 2000):

<http://geomag.usgs.gov/products/movies/index.php?type=declination&format=gif>

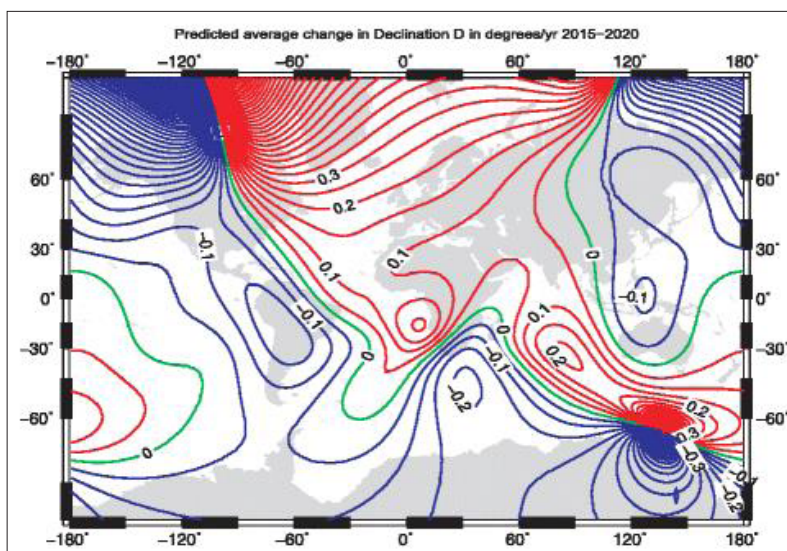
Hay una proporción del campo magnético terrestre de origen interno, que varía lentamente en el tiempo y puede ser descrita por modelos matemáticos como el *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF) y el *World Magnetic Model* (WMM) (Fig. 9). Estos modelos se ocupan de calcular los parámetros geomagnéticos del pasado a partir de una amplia red de estaciones geomagnéticas, donde se registran estos parámetros en tiempo universal, además de numerosas estaciones donde se estudia el campo magnético del pasado.

### Descripción de la propuesta

La sesión tiene una duración aproximada de una hora. La actividad debería realizarse en un aula de informática o con ordenadores portátiles en el aula. En la práctica se observará la variación de la declinación magnética en diferentes momentos históricos de Estados Unidos. La selección de la localidad se puede realizar al azar o se puede usar la localidad propuesta. Esta información puede extraerse de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) que pone a disposición diversos parámetros geomagnéticos de un modo didáctico. A continuación se representará con Excel dicha variación. Seguir los enlaces:

1. El profesorado proporcionará el enlace a la página web de NOAA donde se calcula la declinación histórica de Estados Unidos:  
<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#ushistoric>
2. Se elige una localidad al azar: **El Paso** (Texas) en este ejemplo (Fig. 10).
3. La página web determina automáticamente la

Fig. 9. Variación de la declinación calculada para el año 2015 con validez hasta el 2020 por el modelo IGRF (*International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation*, Thébault *et al.*, 2015). <http://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-015-0228-9>



**Calculate U.S. Historic Declination**

Latitude: 31° 46' 48" ☐ N

Longitude: 106° 27' 0" ☐ W

Start Date: Year 1750

End Date: 3 Year 2016

Result format: ☒ HTML ☐ XML ☐ CSV

Calculate

Fig. 11. Calculadora de campo magnético terrestre de NOAA, apartado Calculadora de la declinación histórica.

**Open XML**

Seleccione cómo desea abrir este archivo:

☒ Como tabla XML

☐ Como libro de sólo lectura

☐ Utilizar el panel de tareas Origen XML

Aceptar Cancelar Ayuda

**Microsoft Excel**

El origen XML especificado no se refiere a un esquema. Excel creará un esquema en función de los datos del origen XML.

☐ No volver a mostrar este mensaje.

Aceptar Ayuda

Fig. 12. Ventanas emergentes en Excel al importar el archivo procedente de la declinación histórica de NOAA.

- Se observa la variación de la declinación en el transcurso del tiempo. De 1750 a 1840 probablemente no existen datos disponibles para la localidad de **El Paso**. Por lo tanto utilizaremos desde 1850 para nuestra representación.
- Seleccionamos las columnas que queremos representar: *Date* (fecha) y *Declination* (declinación) (Fig. 13). Seleccionamos asimismo el tipo de gráfico que queremos realizar en Excel, nosotros hemos elegido (Fig. 14).

Insertar > Gráficos > Dispersión (con líneas)

- Se reflexionará en conjunto sobre el significado de estos cambios.

- Cuestiones a debate:

- Los temas de reflexión pueden tratar aspectos de la diferencia angular del norte magnético y geográfico. En este ejemplo podemos observar como la declinación de El Paso ha variado de casi 12° en 1850 a 8° en 2016. ¿Cuál es el valor de corrección que deberíamos introducir en el año 1900? ¿Y en el 2000?

Se utiliza la calculadora histórica de NOAA indicada en el ejercicio (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#ushistoric>) y se seleccionan los datos mencionados, u otros al azar. Los resultados serían 11°28' para 1900 y 9°59' para el año 2000.

date	latitude	longitude	declination
1750	31,78	-106,45	0
1760	31,78	-106,45	0
1770	31,78	-106,45	0
1780	31,78	-106,45	0
1790	31,78	-106,45	0
1800	31,78	-106,45	0
1810	31,78	-106,45	0
1820	31,78	-106,45	0
1830	31,78	-106,45	0
1840	31,78	-106,45	0
1850	31,78	-106,45	11,75
1860	31,78	-106,45	11,9
1870	31,78	-106,45	11,96667
1880	31,78	-106,45	11,8
1890	31,78	-106,45	11,46667
1900	31,78	-106,45	11,45
1905	31,78	-106,45	11,9
1910	31,78	-106,45	12,36667
1915	31,78	-106,45	12,63333
1920	31,78	-106,45	12,78333
1925	31,78	-106,45	12,73333
1930	31,78	-106,45	12,76667
1935	31,78	-106,45	12,85
1940	31,78	-106,45	12,86667
1945	31,78	-106,45	12,8
1950	31,78	-106,45	12,63333
1955	31,78	-106,45	12,48333
1960	31,78	-106,45	12,35
1965	31,78	-106,45	12,13333
1970	31,78	-106,45	11,85
1975	31,78	-106,45	11,48333
1980	31,78	-106,45	11,08333
1985	31,78	-106,45	10,65
1990	31,78	-106,45	10,43333
1995	31,78	-106,45	10,33333
2000	31,78	-106,45	9,98333
2005	31,78	-106,45	9,48333
2010	31,78	-106,45	8,93333
2015	31,78	-106,45	8,41667
2016	31,78	-106,45	8,31667

Fig. 13. Hoja de cálculo con los datos de fecha, latitud, longitud y variación de la declinación.

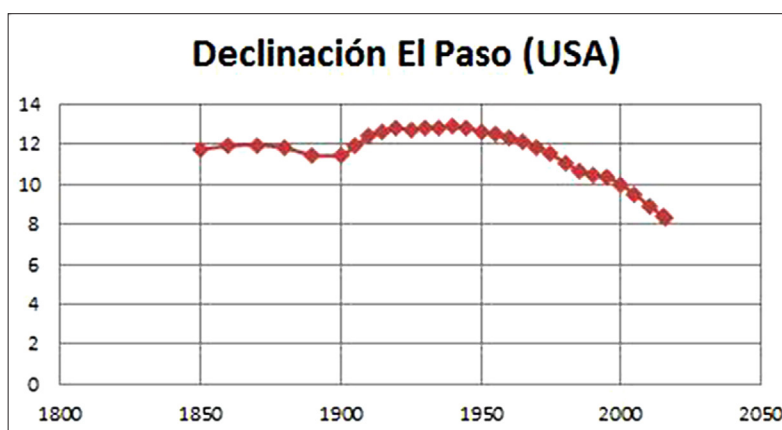


Fig. 14. Gráfico de representación de la evolución de la declinación a lo largo del tiempo.

- Reflexionar sobre las dificultades que tendría un navegante que se dirigiese a EEUU en la Edad Media. ¿Los factores de corrección introducidos en su brújula serían los mismos que los actuales?

*Convendría reflexionar que, por experimentado que fuera el navegante, debería tener nociones de geomagnetismo, puesto que el factor de corrección a introducir en su brújula sería dependiente de su localización precisa (y cambiante a medida que navegaba). Además, si fuese afortunado y contase con cartas antiguas de navegación, los valores de declinación habrían cambiado en el momento de su viaje.*

- Pensar en artilugios caseros para fabricar una brújula (aguja imantada, p.ej.) y calcular la diferencia angular hipotética que existiría entre el norte magnético y geográfico.

*Como actividad casera se propone imantar una aguja con la manga del jersey y situarla sobre una pequeña hoja de un árbol, sobre el agua de un barreño. La hoja girará hasta señalar el norte magnético. Conociendo los grados de declinación por medio de la calculadora NOAA (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>), situar un transportador de ángulos en el aire sobre la aguja para saber dónde estaría el norte geográfico aproximadamente.*

### Cálculo de Intensidad, Declinación e Inclinación magnéticas en diferentes latitudes

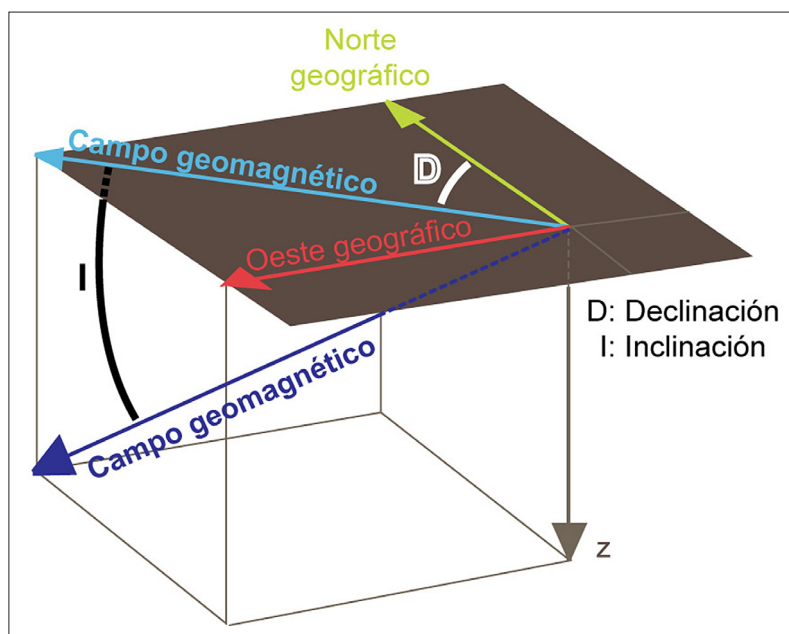
#### Objetivos de la actividad

A través de esta actividad, se observarán los diferentes valores de intensidad, declinación e inclinación en varios puntos del planeta, y reflexionará sobre las causas de esas variaciones.

#### Fundamentos

La declinación magnética es el ángulo entre el Norte geográfico y el Norte magnético (Fig. 15), y varía en función del tiempo y la posición en el planeta

Fig. 15. Declinación e inclinación magnética.



(ver descripción más amplia en Actividades 2 y 3). La inclinación magnética es el ángulo que forman con la horizontal las líneas de campo magnético terrestre, y varían también en diferentes puntos de la superficie terrestre. Ambos ángulos se miden en grados. La intensidad del campo magnético es el valor numérico que cuantifica el valor de dichas líneas de campo y se mide en unidades de campo magnético, es decir, la Tesla (T).

Por tanto, las variaciones de intensidad, declinación e inclinación magnéticas pueden tener implicaciones importantes como, por ejemplo, para la orientación (variaciones en las mediciones con brújulas) o para la exploración geológica y minera. Puesto que otras de las actividades propuestas se centran en la declinación magnética, con esta actividad se pretende que los alumnos/as se centren en la inclinación y la intensidad magnética, comprueben las diferencias en varios puntos del planeta y reflexionen sobre las posibles causas de estas diferencias. Por último, se profundizará en la interpretación de las causas de las variaciones temporales del campo magnético terrestre y su terminología asociada (polaridad normal, inversa, excursiones, inversiones).

#### Descripción de la propuesta

La duración recomendada de esta actividad es de una sesión (1 hora). Esta actividad se realiza según los siguientes pasos:

1. El profesor/a proporcionará el enlace a la web que permite obtener la intensidad, declinación e inclinación magnética en diferentes puntos del planeta:  
<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>

2. Los alumnos/as buscarán los datos de intensidad, declinación e inclinación para 2 lugares diferentes, uno cercano a los polos y otro cercano al ecuador (ver ejemplo en Figs. 16 y 17).

El profesorado observará con los alumnos/as dónde obtienen mayor intensidad magnética ¿En las zonas cercanas a los polos o en las zonas cercanas al ecuador? A continuación observarán e interpretarán el mapa de intensidades de la Fig. 18. En este punto se deberá incidir en la composición del núcleo externo (hierro y níquel) y la variabilidad de sus corrientes similares a las de convección en la atmósfera (ejemplo inversión térmica) o en una olla hirviendo. Sería recomendable también mostrar un imán rectangular o cilíndrico para que reflexionen sobre en qué puntos del imán existiría mayor o menor intensidad magnética.

3. El profesorado observará con los alumnos/as dónde obtienen mayor inclinación magnética ¿En las zonas cercanas a los polos o en las zonas cercanas al ecuador? A continuación observarán e interpretarán el mapa de inclinaciones de la Fig. 19. En este punto se recapitulará sobre las variaciones temporales en inclinación, declinación e intensidad, y cómo éstas están estrechamente relacionadas, formando en conjunto las características del vector que define el campo geomagnético (ver Fig.15). Se introducirán también los conceptos de excursión (traslado tem-



### Calculate Magnetic Field

Latitude:  ☐ S ☒ N

Longitude:  ☐ W ☒ E

Elevation: ☐ GPS ☒ Mean sea level

Kilometers

Model: ☐ WMM (2014-2019) ☒ IGRF (1590-2019)

Start Date: Year  Month  Day

End Date: Year  Month  Day

Step size:

Result format: ☒ HTML ☐ XML ☐ CSV

Calculate

3

### Lookup Latitude / Longitude

Either enter a zip code, select a country/city, or search for an address at USGS Earth Explorer.

U.S. Zip Code:

- OR -

Country:

City:

Get & Add Lat / Lon

2

poral del eje del dipolo y a continuación vuelta a la polaridad original) e inversión magnética.

#### 4. Cuestiones a debate:

- ¿Es lo mismo excursión magnética que inversión magnética?

Como se describe en la introducción de estas actividades, una inversión geomagnética está representada por un cambio de polaridad que viene acompañada por un descenso de la intensidad del campo geomagnético. Una excursión geomagnética es, en cambio, una modificación significativa en la orientación del campo magnético terrestre. A diferencia de las inversiones, la excursión no representa un cambio permanente sino que tiene una duración relativamente corta. El planteamiento de esta pregunta puede servir para aclarar dudas conceptuales/terminológicas.

- ¿A qué se debe esta distribución de intensidades diferenciales en el planeta? ¿Ha sido constante a lo largo de la historia de la Tierra?

La intensidad del campo magnético es máxima allá donde se encuentre una mayor acumulación de líneas de campo magnético en menor espacio, es decir, en los polos magnéticos. La variación a lo largo del tiempo de la posición de los polos magnéticos, por lo tanto, ha producido y

Fig. 16. Cálculo de la latitud y longitud para Reykjavik. Una vez obtenida la longitud y latitud, deberás pulsar Calculate. Fuente: NOAA.

Fig. 17. Datos de declinación, inclinación e intensidad para Reykjavik. Fuente: NOAA.

### Magnetic Field

Model Used: IGRF12

Latitude: 64° 8' 6" N

Longitude: 21° 53' 42" W

Elevation: 0.0 km Mean Sea Level

Date	Declination (+ E   - W)	Inclination (+ D   - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N   - S)	East Comp (+ E   - W)	Vertical Comp (+ D   - U)	Total Field
2016-04-15	-14° 12' 41"	75° 29' 47"	13,118.8 nT	12,717.3 nT	-3,220.7 nT	50,713.3 nT	52,382.7 nT
Change/year	0° 16' 41"/yr	-0° 0' 21"/yr	7.4 nT/yr	22.8 nT/yr	59.9 nT/yr	6.7 nT/yr	8.4 nT/yr

### US/UK World Magnetic Model - Epoch 2015.0 Main Field Total Intensity (F)

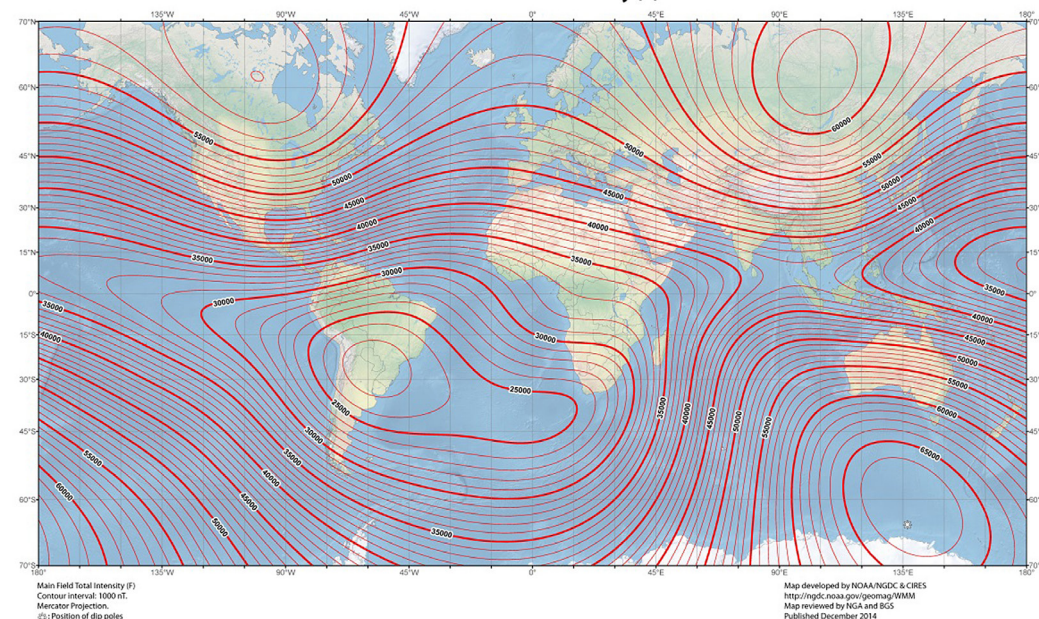
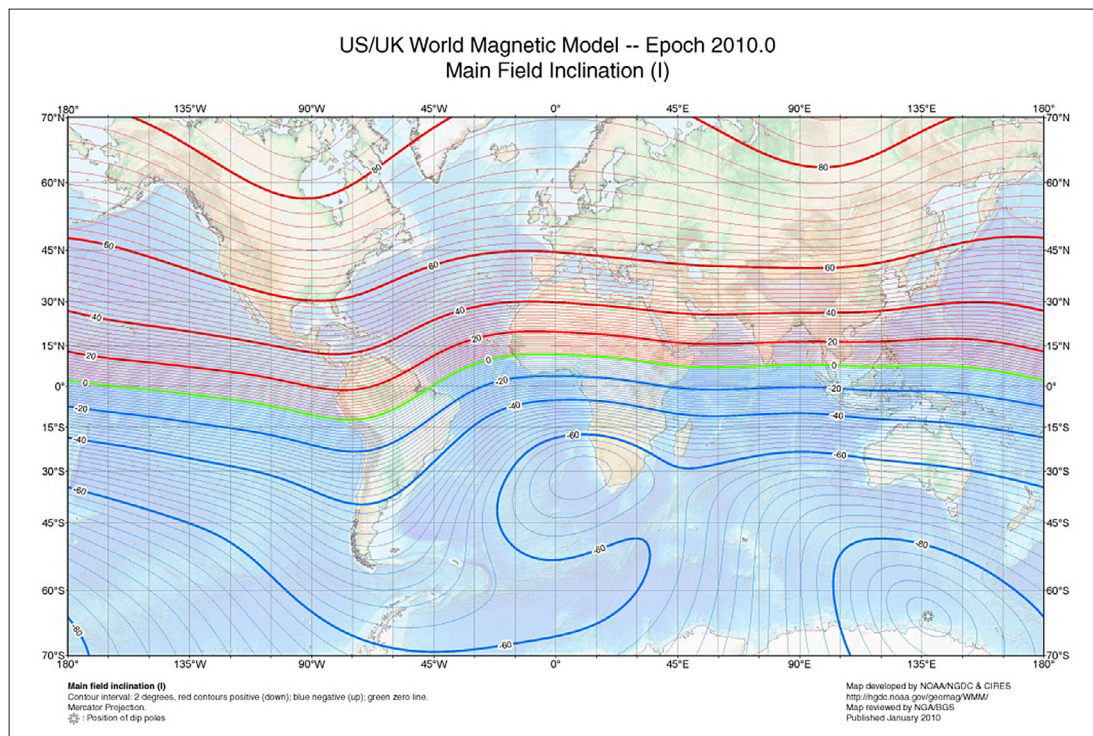


Fig. 18. Mapa de intensidad magnética total en 2015. Fuente: NOAA  
<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/DoDWMM.shtml>

Fig. 19. Mapa de intensidad magnética total en 2010. Fuente: NOAA  
[http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2010/WMM2010\\_I\\_MERC.pdf](http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2010/WMM2010_I_MERC.pdf)



producirá cambios en la distribución de las intensidades del campo magnético terrestre.

- ¿A qué se debe esta distribución de inclinaciones diferenciales en el planeta? ¿Ha sido constante a lo largo de la historia de la Tierra?

Como se ha dicho, la inclinación magnética es el ángulo que forman con la horizontal las líneas de campo magnético terrestre. Por lo tanto, la inclinación será máxima en zonas cercanas a donde convergen las líneas del campo magnético en el norte y sur magnéticos (por ejemplo, Islandia), y mínima en las zonas más alejadas a los polos (por ejemplo, Ecuador). Podemos comprender, por lo tanto, que si en algún momento de la historia de la Tierra el Norte magnético se situara en Alemania, ahí encontraríamos los valores máximos de inclinación. Estos valores, por lo tanto, varían a lo largo de la historia de la Tierra.

## CONSIDERACIONES FINALES

La existencia del campo magnético terrestre tiene consecuencias directas sobre el comportamiento de los seres vivos, y ha sido aprovechada por los humanos para ampliar el conocimiento de lo que nos rodea (desde la orientación mediante brújulas hasta la comprensión de la deriva tectónica). Sin embargo, su aparente complejidad teórica y las dificultades para visualizarlo tridimensionalmente han hecho que su importancia aún no sea satisfactoriamente asumida por alumnado y profesorado. Las actividades propuestas pretenden despertar la curiosidad en el alumnado y profesorado y facilitar un acercamiento pragmático, actualizado, activo e interactivo a la comprensión del geomagnetismo en concreto, focalizado en la comprensión de conceptos como el campo magnético terrestre, la intensidad, la de-

clinación y la inclinación magnéticas o las auroras polares. Al mismo tiempo, se pretende fomentar, con la ayuda de las TIC, el conocimiento geológico, la práctica científica en general, y el desarrollo de competencias clave para la formación integral del alumnado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Castelhano, P. C. D. A. M., Madaleno, I. D. C. G. y Azinhaga, P. A. F. (2013). ¿La tierra crece? ¡Tal vez!. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 10(1), 120-132.
- Fernández, J. P. S. (2013). Enseñanza y divulgación de las ciencias: aurora boreal: un espectáculo visual de luz y materia. *100cias@uned*, (6), 163-170.
- Fernández-Manzanal, R. y Hueto, A. (2011). El currículo de Biología en el Bachillerato. En *Biología y Geología. Complementos de formación disciplinar / coord. por Pedro Cañal de León*, 167-185. Barcelona, Editorial Graó.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12.3, 299-313.
- Hong Kong Observatory (2012). *Geomagnetism. What cause the Earth's geomagnetic field?* Recuperado de: [http://www.hko.gov.hk/gts/equake/qe\\_geomagnetism\\_e.htm](http://www.hko.gov.hk/gts/equake/qe_geomagnetism_e.htm)
- Jackson, A., Jonkers, A. R. y Walker, M. R. (2000). Four centuries of geomagnetic secular variation from historical records. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 358 (1768), 957-990.
- Macmillan, S. y Maus, S. (2005). International geomagnetic reference field—the tenth generation. *Earth, planets and space*, 57(12), 1135-1140.
- Maus, S. (2010). *Geomagnetism*. Recuperado de: <http://geomag.org/info/declination.html>
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G., Barrera, J.L., Belmonte, Á., Brusi, D., Calonge, A., Cardona,



V., Crespo-Blanc A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129.

Thébault, E., Finlay, C. C., Beggan, C. D., Alken, P., Aubert, J., Barrois, O., Bertrand, F., Bondar, T., Boness, A. y Canet, E. (2015). International geomagnetic reference field: the 12th generation. *Earth, Planets and Space*, 67(1), 1-19.

### Legislación

ESPAÑA. Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación

primaria, la educación secundaria obligatoria y el Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, 29 de enero de 2015, núm. 25, 6986-7033.

ESPAÑA. Orden ECD/1361/2015, de 3 de julio, por la que se establece el currículo de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato para el ámbito de gestión del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, y se regula su implantación, así como la evaluación continua y determinados aspectos organizativos de las etapas. Boletín Oficial del Estado, 9 de julio de 2015, núm. 163, 56936-56962. ■

*Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 30 de mayo y aceptado definitivamente para su publicación el 29 de julio de 2016.*